

**Controlled electrical power series compensator with capacitor bank**

**Patent number:** DE19619305  
**Publication date:** 1996-11-28  
**Inventor:** WEIS STEPHAN DIPL ING (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: H02J3/18; H02J3/18; (IPC1-7): H02J3/18  
- european: H02J3/18B  
**Application number:** DE19961019305 19960513  
**Priority number(s):** EP19950107994 19950524

**Report a data error here**

**Abstract of DE19619305**

The electrical series compensation system 2 has a unit 4 that generates a synchronising signal Ss that is applied to a control stage 6 that provides firing pulses Sth1, Sth2 for operation of a pair of synchronised thyristors Th1, Th2. The series compensator is coupled 8 between voltage stages 10, 12 and provides a voltage phase shift. The compensator has a compensator bank 14 and in parallel is a switched inductance 16.

---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Controlled electrical power series compensator with capacitor bank has thyristor switching stages coupled to inductance and controlled by synchronising signal

5

The electrical series compensation system [2] has a unit [4] that generates a synchronising signal [Ss] that is applied to a control stage [6] that provides firing pulses [Sth1,Sth2] for operation of a pair of synchronised thyristors [Th1,Th2]. The series compensator is coupled [8] between voltage stages [10,12] and provides a voltage phase shift. The compensator has a compensator bank [14] and in parallel is a switched inductance [16].; Electrical series compensator. Stable change from capacitive to inductive range

10





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 19 305 A 1

51 Int. Cl.º:  
H 02 J 3/18

21 Aktenzeichen: 196 19 305.2  
22 Anmeldetag: 13. 5. 96  
23 Offenlegungstag: 28. 11. 96

DE 196 19 305 A 1

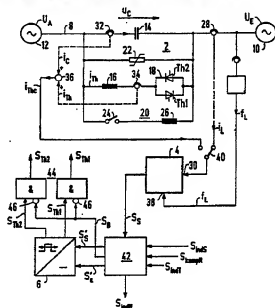
53 Unionspriorität: 22 33 31  
24.05.95 EP 95 10 7994.6

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:  
Weiß, Stephan, Dipl.-Ing., 91080 Uttenreuth, DE

55 Verfahren und Vorrichtung zur Umschaltung des Arbeitsbereiches eines gesteuerten Serienkompensators

57 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Umschaltung des Arbeitsbereiches eines gesteuerten Serienkompensators (2) von einem kapazitiven Arbeitsbereich ( $A_{\text{kap}}$ ) in einen induktiven Arbeitsbereich ( $A_{\text{ind}}$ ) und auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens. Erfindungsgemäß wird in Abhängigkeit eines geforderten induktiven Arbeitspunktes zunächst ein vorbestimmter kapazitiver Arbeitspunkt eingestellt und zeitverzögert des bereitgestellte Synchronisierungssignal ( $S_s$ ) invertiert und auf die Steuerwinkel-Signale ( $S_\alpha$ ) für den induktiven Arbeitspunkt umgeschaltet, wobei nach einer vorbestimmten Zeit die Zündimpulse ( $S_{\text{TH1}}$ ,  $S_{\text{TH2}}$ ) für eine vorbestimmte Zeit gesperrt werden. Somit kann der gesteuerte Serienkompensator (2) im fehlerfreien Betrieb in einen stabilen beliebigen induktiven Arbeitspunkt überführt werden, wodurch sich sein Arbeitsbereich verdoppelt.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 96 602 048/500

13/24

DE 196 19 305 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Umschaltung des Arbeitsbereiches eines gesteuerten Serienkompensators, bestehend aus einer Kondensatorbank, dem eine geschaltete Drossel parallel geschaltet ist, von einem kapazitiven Arbeitsbereich in einen induktiven Arbeitsbereich und auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Bei der Reihenkompensation werden üblicherweise Kondensatoren im Leitungszug eingesetzt, um den stromabhängigen Spannungsfall auf der Leitung und den Übertragungswinkel in Stufen zu vermindern. Es handelt sich dabei um Kondensatorbänke, die als Ganzes oder in mehreren Teilkondensatoren (Segmenten) in Reihe zu- und abgeschaltet werden. Das Zu- und Abschalten des Kondensators geschieht dadurch, daß ein paralleler Leistungsschalter geöffnet bzw. geschlossen wird. Der Schutz des Kondensators bei Netzkurzschluß wird durch einen parallelen Ableiter, durch eine triggerbare Funkenstrecke und/oder durch einen parallelen Leistungsschalter gewährleistet.

Des weiteren ist ein Reihenkompensationsanlage bekannt, bei der durch eine zum Kondensator parallel geschaltete Drossel die Gesamtimpedanz dieses Reihenkompensators (ähnlich wie beim TCR (Thyristor Controlled Reactor) im statischen Kompensator) mit einem Stromrichterventil durch entsprechendes Zünden auf Hochspannungspotential stufenlos geregelt wird. Eine derartig gesteuerte Serienkompensation ist bekannt unter dem Begriff ASC (Advanced Series Compensation). Mit einem derartig gesteuerten Serienkompensator kann die Dynamik der Reihenkompensation verbessert werden und die Gesamtimpedanz ist in einem gewissen Bereich regelbar, wobei die Impedanz von kapazitiv bis induktiv verändert werden kann.

Derartige Reihenkompensationsanlagen sind im Aufsatz "Geregelte Parallel- und Reihenkompensation", abgedruckt in der DE-Zeitschrift "Elektrie", Band 45, 1991, März, Seiten 88 bis 90, vorgestellt. Außerdem ist ein derartig gesteuerter Reihenkompensator, der in eine Übertragungsleitung integriert ist, im EPRI-Workshop mit dem Titel "Advanced Series Compensation with Variable Impedance" vom 14. bis 16. November, 1990, Cincinnati, Ohio, beschrieben.

Die Funktion der geregelten Serienkompensationsanlage beruht auf der Ansteuerung eines Stromrichterventils, welche durch einen gezielten Umladevorgang durch die Spule eine für das Netz wirksame Impedanz erzeugt. Diese Ansteuerung muß sich periodisch wiederholen und ist auf die Spannung über den Kondensator der gesteuerten Serienkompensationsanlage bezogen. Ein Steuersatz sorgt für eine zeitsynchrone Ansteuerung dieses Stromrichterventils. Dieser Steuersatz setzt Zündimpulse ab, die aus einem Synchronisiersignal und einem gewünschten, auf diesen bezogenen Steuerwinkel ermittelt werden. Eine nachgeschaltete Logik ermöglicht noch einen Schutzgegriff, um Zündungen bei Störfällen zu blockieren.

Der bisherige Anwendungsbereich einer gesteuerten Serienkompensationsanlage (ASC) beschränkte sich auf den Arbeitsbereich der veränderbaren kapazitiven Impedanz. Wie jedoch der Fig. 1 zu entnehmen ist, besteht theoretisch die Möglichkeit, die Grundschwingungs-Impedanz des ASCs vom kapazitiven Arbeitsbereich  $A_{kap}$  in den induktiven Arbeitsbereich  $A_{ind}$  überzuführen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, den Arbeitsbereich des ASCs im fehlerfreien Betrieb (nicht im Über-

lastbereich) zu verdoppeln.

Durch diese Erweiterung des ASC-Arbeitsbereiches ergibt sich eine wesentliche Vergrößerung der ASC-Dynamik für die Beeinflussung des Lastflusses und der Dämpfung von Leistungspendelungen in der mit dem ASC ausgerüsteten Übertragungsleitung.

Der bisherige Betrieb des ASCs beschränkte sich jedoch auf den kapazitiven Arbeitsbereich. Hierbei wird ein der Kondensatorspannung proportionales Signal aus dem Leitungssignal generiert und dem Steuersatz als Synchronisiersignal zugeführt. Zusammen mit einer Steuerspannung, die proportional einem Steuerwinkel ist, generiert der Steuersatz Zündimpulse, die getrennt für die positive und negative Spannungshalbwelle die jeweiligen Thyristoren ansteuern. Wie in Fig. 1 gezeigt wird, ist der Betrieb im kapazitiven Bereich  $A_{kap}$  bei einem Steuerwinkel  $\alpha$ , von  $180^\circ$  bis zu einem anlagenabhängigen Betriebspunkt, an dem die kapazitive Impedanz im stationären Betrieb gegen unendlich strebt, definiert. Hierbei ergibt sich durch den Umladevorgang eine Vergrößerung der Kondensatorspannung gemäß der Fig. 2.

Wird der Steuerwinkel  $\alpha$  im bisherigen Betrieb auf einen Winkel eingestellt, der im stationären Betrieb gemäß Fig. 1 eine induktive Impedanz ergibt, so führt das zu einem instabilen Betrieb, wie die Fig. 3 zeigt. Der zugehörige Verlauf des Ventilstromes für diesen instabilen Betrieb zeigt die Fig. 4 in einem Diagramm über der Zeit t.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, mit dem der gesteuerte Serienkompensator von einem beliebigen Arbeitspunkt im kapazitiven Arbeitsbereich in einen beliebigen Arbeitspunkt im induktiven Arbeitsbereich überführt werden kann, der stabil ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. 4.

Dadurch, daß bei Feststellung eines geforderten induktiven Betriebspunktes für den fehlerfreien Betrieb des gesteuerten Serienkompensators zunächst ein vorbestimmter kapazitiver Betriebspunkt eingestellt wird, wird für jeden beliebigen Arbeitspunkt des gesteuerten Serienkompensators die gleiche Voraussetzung für die Überführung des gesteuerten Serienkompensators aus diesem beliebigen kapazitiven Arbeitspunkt in einen geforderten induktiven Arbeitspunkt geschaffen. Zeitverzögert zu dieser Umschaltung wird das bereitgestellte Synchronisiersignal invertiert, während gleichzeitig die Zündimpulse für die geschaltete Drossel gesperrt werden. Nachdem die für die Umschalt-Ablaststeuerung vorgesehene Zeitspanne, beispielsweise eine Netzperiode, abgelaufen ist, wird die Sperrung der Zündimpulse wieder aufgehoben und es steht ein Steuerwinkel entsprechend dem geforderten induktiven Arbeitspunkt zur Verfügung.

Durch dieses erfindungsgemäße Verfahren zur Umschaltung des Arbeitsbereiches eines gesteuerten Serienkompensators von einem beliebigen kapazitiven Arbeitspunkt in einen geforderten induktiven Arbeitspunkt wird einerseits das bereitgestellte Synchronisiersignal um  $180^\circ$  elektrisch gedreht und andererseits durch die Ausgabe eines vorbestimmten Arbeitspunktes mit zeitverschobener Sperrung der Zündimpulse während des Umschaltens für beispielsweise eine halbe Netzperiode die Startbedingung für den induktiven Arbeitsbereich geschaffen.

Die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsge-

mäßen Verfahrens weist eine Umschalteneinrichtung und eine Sperrereinrichtung auf. Mittels der Umschalteneinrichtung wird der gesteuerte Serienkompensator auf einen definierten Betriebspunkt gesetzt, von dem die Umschaltung stattfindet und das bereitgestellte Synchronisiersignal invertiert. Außerdem generiert diese Umschalteneinrichtung ein Blockiersignal, mit dem die Sperrereinrichtung zeitverzögert zur Ausgabe des definierten Betriebspunktes für die Weiterleitung der Zündimpulse vom Steuersatz zur geschalteten Drossel blockiert werden. Nachdem die Umschaltzeit abgelaufen ist, wird die Blockierung der Zündsignale aufgehoben und es wird ein Steuerwinkel entsprechend dem geforderten induktiven Arbeitspunkt und ein für den induktiven Arbeitsbereich erforderliches invertiertes Synchronisiersignal von der Umschalteneinrichtung bereitgestellt.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind den Unteransprüchen 5 bis 12 zu entnehmen.

Zur weiteren Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der ein Ausführungsbeispiel schematisch veranschaulicht ist.

Fig. 1 zeigt die Arbeitskennlinie eines gesteuerten Serienkompensators, die

Fig. 2 zeigt in einem Diagramm die zeitlichen Verläufe eines gemessenen Leiterstromes und einer Kondensatorspannung des gesteuerten Serienkompensators.

Fig. 3 veranschaulicht in einem Diagramm über der Zeit  $t$  die Kondensatorspannung beim Übergang von einem kapazitiven zu einem induktiven Arbeitspunkt ohne Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei in

Fig. 4 in einem Diagramm über der Zeit  $t$  der zugehörige Ventilstrom dargestellt ist, die

Fig. 5 zeigt ein einphasiges Ersatzschaltbild eines bekannten gesteuerten Serienkompensators mit der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die

Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform einer Umschalteneinrichtung der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die

Fig. 7 zeigt in einem Diagramm die zeitlichen Verläufe des Leiterstromes und der Kondensatorspannung bei einem induktiven Arbeitspunkt und die

Fig. 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung während einer Umschaltung von einem kapazitiven in einen induktiven Arbeitspunkt mit Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die

Fig. 9 in einem Diagramm über der Zeit  $t$  den zugehörigen Ventilstrom darstellt.

Die Fig. 5 zeigt ein einphasiges Ersatzschaltbild eines gesteuerten Serienkompensators 2 mit einer Vorrichtung 4 zur Erzeugung eines Synchronisiersignals  $S_s$ , das einem nachgeschalteten Steuersatz 6 zugeführt ist. Dieser Steuersatz 6 sorgt für ein zeitlich synchrones Ansteuern zweier Thyristoren  $Th_1$  und  $Th_2$ . Dieser Steuersatz 6 setzt Zündimpulse  $S_{Th_1}$  und  $S_{Th_2}$  ab, die aus einem Synchronisiersignal  $S_s$  mit einem gewünschten, auf diesen bezogenen Steuerwinkel  $\alpha$  ermittelt werden. Der gesteuerte Serienkompensator 2, der auch als ASC (Advanced Series Compensation) bekannt ist, ist als Reihenwiderstand in einer Übertragungsleitung 8 integriert. Dieses geschieht in den meisten Fällen im Zuge der Leitung 8, erfolgt aber auch am Ausgang bzw. Eingang von Schaltstationen. Am Leitungsanfang und am Leitungsende sind jeweils Spannungsfälle 10 und 12 ange-

geben, deren Spannungen  $U_E$  und  $U_A$  sich in der Amplitude um einen Leitungsspannungsabfall  $\Delta U$  unterscheiden und in einem Spannungsverdrehwinkel 9 phasenverschoben sind. Die Spannung  $U_A$  am Leitungsanfang wird auch als sendende Spannung  $U_A$  und die Spannung  $U_E$  am Leitungsende wird auch als Verbraucherspannung  $U_E$  bezeichnet.

Der Aufbau einer gesteuerten Serienkompensationsanlage 2 kann in drei Bereiche unterteilt werden. Der Kern einer solchen Anlage 2 besteht aus einer Kondensatorbank 14, welche in die Übertragungsleitung 8 seriell integriert ist. Hiermit erreicht man eine Kompensation der induktiven Längsimpedanz der Leitung 8, welche für den induktiven Blindleistungsanteil verantwortlich ist. Parallel zur Serienkondensatorbank 14 wird bei einer gesteuerten Serienkompensationsanlage 2 ein Zweig, bestehend aus einer Spule 16 und einem Stromrichterventil 18, hinzugeschaltet. Als Stromrichterventil 18 ist eine Parallelschaltung zweier Thyristoren  $Th_1$  und  $Th_2$  dargestellt, die antiparallel zueinander angeordnet sind. Mittels dieser beiden Thyristoren  $Th_1$  und  $Th_2$  kann die Spule 16 zu vorbestimmten Zeitpunkten eingeschaltet werden. Anstelle der Thyristoren  $Th_1$  und  $Th_2$  können auch andere Halbleiterventile, beispielsweise GTO-Thyristoren (Gate-Turn-Off-Thyristoren) verwendet werden. Mittels dieses Zweiges besteht die Möglichkeit, durch eine Phasenanschnittsteuerung die wirksame Impedanz des gesteuerten Serienkompensators 2 kontinuierlich kapazitiv zu verändern. Dadurch kann man neben der Erhöhung der Übertragungsleistung auch noch im Fehlerfall (induktiver Arbeitsbereich) auf der Leitung 8 einen Kurzschlussstrom begrenzen.

Zum Schutz der Kondensatorbank 14, der Spule 16 und des Stromrichterventils 18 vor Überlastung durch zu hohe Leistungsströme  $i$ , sind parallel zu diesen Elementen 14 oder 16 und 18 ein Nebenweg 20 (Bypass) und ein nichtlinearer Widerstand 22, auch Ableiter genannt, eingebaut. Als nichtlinearer Widerstand 22 ist beispielsweise ein Metalloxyd-Varistor (MOV) vorgesehen. Dieser elektrisch parallel zum Serienkondensator 14 geschaltete Metalloxyd-Varistor 22 ist so dimensioniert, daß bei einer vorbestimmten Spannungsamplitude dieser Ableiter 22 sehr schnell die Stromführung übernimmt und somit die Serienkondensatorbank 14 vor länger andauernden Überlastzuständen schützt. Das Energieaufnahmevermögen eines nichtlinearen Widerstandes 22 ist aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen natürlich begrenzt und somit benötigt eine Serienkompensationsanlage 2 auch die Möglichkeit, den Serienkondensator 14 mit seinem Ableiter 22 vor Überlastung zu schützen. Diese Aufgabe wird von dem parallelen Nebenweg 20 übernommen. Dieser Bypass 20 besteht aus einem Bypass-Schalter 24 und aus einem Dämpfungskreis 26. Der Bypass-Schalter 24 wird geschlossen, sobald die Belastung, d. h. das Energieaufnahmevermögen des Ableiters 22, erschöpft ist.

Mittels einer Einrichtung 28 wird der Istwert des Leistungsstromes  $i$  ermittelt und einem Amplitudeneingang 30 der Vorrichtung 4 zur Erzeugung eines Synchronisiersignals  $S_s$  zugeführt. Mittels einer Einrichtung 32 wird der Istwert des Kondensatorstromes  $i_c$  und mittels einer Einrichtung 34 wird der Istwert des Ventilstromes  $i_v$  ermittelt und einem Verknüpfungsglied 36 zugeführt, dessen Ausgang mit dem Amplitudeneingang 30 der Vorrichtung 4 zur Erzeugung eines Synchronisiersignals  $S_s$  verknüpft werden kann. Einem Frequenzeingang der Vorrichtung 4 zur Erzeugung eines Synchron-

siersignals  $S_s$  wird ein Istwert der Frequenz  $f_i$  der Übertragungsleitung 8 zugeführt. Die Systemgrößen  $i_t$ ,  $i_n$  und  $i_c$  werden über ein Lichtleitersystem potentialfrei von der auf Hochspannungspotential befindlichen Anlage 2 zur Vorrichtung 4 zur Erzeugung eines Synchronisierungssignals  $S_s$  geführt, die auf Erdpotential ist. Diese potentialfreie Übertragung der Systemgrößen  $i_t$ ,  $i_c$  und  $i_n$  sind durch eine unterbrochene Linie dargestellt. Eine derartige ASC-Anlage 2 ist aus dem eingangs genannten EPRI-Workshop annähernd bekannt.

Zwischen der Vorrichtung 4 zur Erzeugung eines Synchronisierungssignals  $S_s$  und dem Steuersatz 6 ist eine Umschalteneinrichtung 42 der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens angeordnet, wobei die Ausgänge des Steuersatzes 6 mit einer Sperr-einrichtung 44 versehen sind, die ebenfalls Bestandteil der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist. Die Umschalteneinrichtung 42 ist ebenfalls mit den invertierenden Eingängen 46 der Sperr-einrichtung 44 verknüpft. Der Umschalteneinrichtung 42 sind außerdem neben dem Synchronisierungssignal  $S_s$  noch ein phasenbezogenes Anlagen-Stellsignal  $S_{kompR}$  und zwei Kennungssignale  $S_{indS}$  und  $S_{indT}$  der weiteren Phasen S und T der ASC-Anlage 2 zugeführt. Ausgangsseitig stehen ein Steuerwinkel-Signal  $S'_s$  und ein modifiziertes Synchronisierungssignal  $S'_s$  zur weiteren Verarbeitung im Steuersatz 6 zur Verfügung. An den beiden Ausgängen der Sperr-einrichtung 44 stehen die erzeugten Zündsignale  $S_{Th1}$  und  $S_{Th2}$  für die Thyristoren  $Th1$  und  $Th2$  des Stromrichterventils 18 an.

Die Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform der Umschalteneinrichtung 42. Diese Umschalteneinrichtung 42 weist eine Umschalt-Ablaufsteuerung 48, jeweils ein Funktionsglied 50 und 52 für den kapazitiven und induktiven Arbeitsbereich  $A_{kap}$  und  $A_{ind}$ , eine Einrichtung 54 zur Arbeitsbereichskennung, eine Einrichtung 56 zur Invertierung eines Synchronisierungssignals  $S_s$  und mehrere Umschalter 58, 60 und 62 auf. Die Einrichtung 54 zur Arbeitsbereichskennung ist ein-gangsseitig mit einem Stellsignal-Eingang 64 verbunden, an dem ein phasenbezogenes Stellsignal  $S_{kompR}$  bzw.  $S_{kompS}$  bzw.  $S_{kompT}$  ansteht. An diesem Eingang 64 ist ebenfalls ein-gangsseitig ein Umschalter 58 an-geschlossen, dessen Ausgänge mit einem Eingang der Funktionsglieder 50 und 52 verknüpft sind. Für die beiden Funktionsglieder 50 und 52 sind Speicher vorge-sehen, in denen jeweils eine Tabelle von Impedanzwerten und zugehörigen Steuerwinkelwerten abgespeichert sind, die jeweils einem Zweig der Arbeitskennlinie der Fig. 1 entsprechen. Der Einrichtung 54 zur Arbeitsbe-reichskennung wird über einen Referenzeingang 66 ein Referenzsignal  $S_{Kov}$  zugeführt. Im einfachsten Fall ist für diese Einrichtung 54 ein Komparator vorgesehen, an dessen Ausgang ein phasenbezogenes Kennungssignal  $S_{Kov}$  ansteht. Dieses phasenbezogene Kennungssignal  $S_{Kov}$  wird der Umschalt-Ablaufsteuerung 48 zugeführt, die aus einem UND-Glied 68, einem monostabilen Kippglied 70 und zwei Verzögerungsgliedern 72 und 74 besteht. Das UND-Glied 68 ist bei dieser Umschalt-Ablaufsteuerung 48 ein-gangsseitig angeordnet und weist insgesamt drei Eingänge auf. Jedem Eingang wird ein phasenbezogenes Kennungssignal  $S_{indS}$ ,  $S_{indS}$  und  $S_{indT}$  zugeführt, wobei zwei Kennungssignale  $S_{indS}$  und  $S_{indT}$  über die Eingänge 76 und 78 zugeführt werden. Das phasenbezogene Kennungssignal  $S_{indS}$  bzw.  $S_{indT}$  wird in der Umschalteneinrichtung 42 der Phase S bzw. T gene-riert. Das phasenbezogene Kennungssignal  $S_{indS}$  wird über den Ausgang 80 aus der Umschalteneinrichtung 42

der Phase R herausgeführt, damit es bei den Umschalt-einrichtungen 42 der Phasen S und T verwendet werden kann. Ausgangsseitig ist dieses UND-Glied 68 einerseits mit den Steuereingängen 82 und 84 der Umschalter 58 und 60 und andererseits mit den Eingängen des monostabilen Kippgliedes 70 und dem Zeitverzögerungsglied 72 verbunden. Dieses Zeitverzögerungsglied 72 ist aus-gangsseitig mit einem Steuereingang 86 eines Umschal-ter 88 der Einrichtung 56 zur Invertierung eines Syn-chronisierungssignals  $S_s$  verbunden. Ausgangsseitig ist die-ser Umschalter 88 mittels eines Multiplizierers 90 mit einem Synchronisierungssignal-Ausgang 92 der Umschalt-einrichtung 42 verbunden. An den beiden Eingängen dieses Umschalters 88 steht jeweils ein positives und ein negatives Vorzeichensignal an. Der zweite Eingang des Multiplizierers 90 ist mit einem Synchronisierungssignal-Ein-gang 94 der Umschalteneinrichtung 42 verknüpft. Der Ausgang des monostabilen Kippgliedes 70 ist einerseits mittels eines weiteren Verzögerungsgliedes 74 mit ein-tem Blockiersignal-Ausgang 96 der Umschalteneinrich-tung 42 und andererseits mit einem Steuereingang 98 des Umschalters 62 verbunden. Der eine Eingang dieses Umschalters 62 ist mit einem einstellbaren Konstant-glied 100 und der andere Eingang ist mit dem Ausgang des Funktionsgliedes 52 für den induktiven Arbeitsbe-reich  $A_{ind}$  verknüpft. Ausgangsseitig ist dieser Umschal-ter 62 mit einem Eingang des Umschalters 60 ver-bunden, dessen zweiter Eingang mit einem Ausgang des Funktionsgliedes 50 für den kapazitiven Arbeitsbereich  $A_{kap}$  verknüpft ist und dessen Ausgang mit einem Steu-erwinkel-Ausgang 102 der Umschalteneinrichtung 42 ver-bunden ist.

Anhand dieses Blockschaltbildes soll nun das erfin-dungsgemäße Verfahren zur Umschaltung des Arbeits-bereiches eines gesteuerten Serienkompensators 2 von einem beliebigen kapazitiven Arbeitspunkt in einen in-duktiven Arbeitspunkt beschrieben werden:

Bei dieser Funktionsbeschreibung wird beispielsweise von einem kapazitiven Arbeitspunkt  $A_{K1}$  ausgegangen. Für diesen Arbeitspunkt ist das phasenbezogene Anla-gen-Stellsignal  $S_{kompR} = -20^\circ \Omega$ , und die Schalter der Umschalter 58, 60, 56 befinden sich in der Stellung I, wogegen der Schalter des Umschalters 62 sich in der Stellung II befindet. Somit erscheinen am Steuerwinkel-Ausgang 102 ein Steuerwinkel-Signal  $S_s = 160^\circ \text{el}$ , am Blockiersignal-Ausgang 96 ein Sperrsignal  $S_s = 0$  und am Synchronisierungssignal-Ausgang 92 ein Synchronisier-signal  $S_{sv} = S_s$ . Sobald das phasenbezogene Anlagen Stellsignal  $S_{kompR}$  seinen Wert von  $-20^\circ \Omega$  auf  $+10^\circ \Omega$  (Induktiver Arbeitspunkt  $A_{K1}$ ) wechselt, wird dieser von der Einrichtung 54 zur Arbeitsbereichskennung mit ein-tem vorgegebenen Referenzsignal  $S_{Kov}$  verglichen. Am Ausgang dieser Einrichtung 54 wechselt das Ken-nungssignal  $S_{indR}$  von "low" nach "high". Das Ausgans-signal des UND-Gliedes 68 der Umschalt-Ablaufsteuerung 48 wechselt ebenfalls von "low" nach "high", sobald die phasenbezogenen Kennungssignale  $S_{indS}$  und  $S_{indT}$  der Phasen S und T ebenfalls einen "high"-Pegel haben. Infolge dieses Pegelwechsels wechseln die Schalter der Umschalter 58 und 60 in die Stellung II, wird das Zeit-verzögerungsglied 72 aktiviert und das monostabile Kippglied wechselt von "low" nach "high", wodurch der Schalter des Umschalters 62 ebenfalls in die Stellung I wechselt und das Zeitverzögerungsglied 74 gestartet wird. Somit wechselt das Steuerwinkel-Signal  $S'_s$  am Steuerwinkel-Ausgang 102 auf einen Wert von beispiels-weise  $140^\circ \text{el}$ , wobei aber auch Werte zwischen  $91^\circ \text{el}$  und  $140^\circ \text{el}$  beliebig gewählt werden können. Der obere

Wert kann anlagenspezifisch verschoben werden. Dadurch befindet sich der gesteuerte Serienkompensator 2 in einem Arbeitspunkt, der unabhängig vom beliebigen kapazitiven Ausgangs-Arbeitspunkt ist. Somit wird für beliebige kapazitive Arbeitspunkte jeweils dieselbe Ausgangsposition für die Umschaltung geschaffen. Das monostabile Kippglied 70 ist beispielsweise auf eine Netzperiode eingestellt, wogegen die Zeitverzögerung der Zeitverzögerungsglieder 72 und 74 beispielsweise auf eine halbe Netzperiode eingestellt ist. Nach Ablauf dieser Verzögerungszeiten wechselt das Sperrsignal  $S_a$  von "low" nach "high", wodurch die Sperrereinrichtung 44 seine Ausgänge blockiert, und der Schalter des Umschalters 56 wechselt in die Stellung II, wodurch das am Synchronisiersignal-Eingang 94 anstehende Synchronisiersignal  $S_s$  invertiert wird. Durch die Blockierung der Zündsignale  $S_{T1}$  und  $S_{T2}$  werden die Thyristoren Th1 und Th2 des Stromrichterventils 18 nicht mehr angesteuert. Dieses Blockieren führt zu einem DC-Anteil in der Kondensatorspannung  $u_c$ , wodurch die Zündung im induktiven Arbeitsbereich  $A_{ind}$  vorbereitet wird. Sobald die Zeit des monostabilen Kippgliedes 70 abgelaufen ist, wechselt das Signal an seinen Ausgang von "high" nach "low", womit auch das Blockiersignal  $S_b$  am Ausgang 96 von "high" nach "low" wechselt. Dadurch wird die Blockierung der Zündsignale  $S_{T1}$  und  $S_{T2}$  wieder aufgehoben. Da die Zeitverzögerung des Zeitverzögerungsgliedes 72 beispielsweise auf eine halbe Netzperiode eingestellt war, wechselt sein Ausgangssignal zusammen mit den Ausgangssignalen des monostabilen Kippgliedes 70 und des Zeitverzögerungsgliedes 74 von "high" nach "low". An den Ausgängen 92 und 102 der Umschalteneinrichtung 42 stehen das modifizierte Synchronisiersignal  $S'_s = -S_s$  und ein Steuerwinkel-Signal  $S'_a = 131,4^\circ$  el an, das mittels des phasenbezogenen Anlagen-Stellsignals  $S_{komp}$  und des Funktionsgliedes 52 bestimmt wurde. Mittels dieser Signale  $S'_a$  und  $S'_s$  arbeitet nun der gesteuerte Serienkompensator 2 im induktiven Arbeitsbereich  $A_{ind}$  beispielsweise im induktiven Arbeitspunkt  $A_{11}$ .

Der induktive Betrieb der ASC-Anlage 2 führt dazu, daß die Kondensatorspannung  $u_c$  dem Leiterstrom  $i_L$  um  $90^\circ$  voreilt (Fig. 7). In der Fig. 8 ist der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung  $u_c$  in einem Diagramm dargestellt, wobei von einem kapazitiven Arbeitsbereich  $A_{kap}$  in einen induktiven Arbeitsbereich  $A_{ind}$  umgeschaltet wird. Ein Vergleich mit dem zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung  $u_c$  gemäß Fig. 3 zeigt, daß kein instabiler Betrieb mehr auftritt. Der zugehörige zeitliche Verlauf des Ventilstromes  $i_{Tn}$  während der Umschaltungszeit zeigt die Fig. 9. Ein Vergleich dieses zeitlichen Verlaufes des Ventilstromes  $i_{Tn}$  mit dem zeitlichen Verlauf des Ventilstromes  $i_{Tn}$  gemäß Fig. 4 zeigt ebenfalls sehr deutlich, daß keine Instabilitäten im induktiven Arbeitsbereich  $A_{ind}$  mehr auftreten. Ebenso werden die Thyristoren Th1 und Th2 des Stromrichterventils 18 viel weniger belastet.

Mittels dieses erfindungsgemäßen Verfahrens wird durch gezielte Veränderung des Synchronisierverfahrens und des Zündwinkels die Grundschrwingungs-Impe-  
danz des ASCs vom kapazitiven in den induktiven Arbeitsbereich überführt. Hierbei ergibt sich die Möglichkeit, den Arbeitsbereich des ASCs im fehlerfreien Betrieb (nicht im Überlastbereich) ohne Mehraufwand zu verdoppeln. Durch die Erweiterung des ASC-Arbeitsbereiches ergibt sich eine wesentliche Vergrößerung der ASC-Dynamik für die Beeinflussung des Lastflusses und der Dämpfung von Leistungsspendelungen in

der mit dem ASC ausgerüsteten Übertragungsleitung 8.

#### Patentansprüche

- Verfahren zur Umschaltung des Arbeitsbereiches eines gesteuerten Serienkompensators (2), bestehend aus einer Kondensatorbank (14), dem eine geschaltete Drossel (16) parallel geschaltet ist, von einem kapazitiven Arbeitsbereich ( $A_{kap}$ ) in einen induktiven Arbeitsbereich ( $A_{ind}$ ), wobei bei Feststellung eines geforderten induktiven Arbeitspunktes ( $A_{11}$ ) im fehlerfreien Betrieb des gesteuerten Serienkompensators (2) einerseits auf die Bereitstellung von Steuerwinkeln ( $a_{ind}$ ) des induktiven Arbeitsbereiches ( $A_{ind}$ ) umgeschaltet und für eine vorgegebene Zeitspanne ein vorbestimmter Steuerwinkel ( $\alpha$ ) an einem Steuersatz (6) des Serienkompensators (2) ausgegeben wird und andererseits nach einer vorbestimmten Zeitverzögerung einerseits ein bereitgestelltes Synchronisiersignal ( $S_s$ ) des gesteuerten Serienkompensators (2) invertiert und andererseits die Zündimpulse ( $S_{T1}$ ,  $S_{T2}$ ) für die geschaltete Drossel (16) gesperrt werden und wobei nach Ablauf der vorgegebenen Zeitspanne einerseits vom vorbestimmten Steuerwinkel ( $\alpha_{kap}$ ) des kapazitiven Arbeitsbereiches ( $A_{kap}$ ) auf die bereitgestellten Steuerwinkel ( $a_{ind}$ ) des induktiven Arbeitsbereiches ( $A_{ind}$ ) umgeschaltet und andererseits die Sperrung der Zündimpulse ( $S_{T1}$ ,  $S_{T2}$ ) aufgehoben werden.
- Verfahren nach Anspruch 1, wobei die vorgegebene Zeitspanne einer Periode einer Netzspannung entspricht.
- Verfahren nach Anspruch 1, wobei die vorbestimmte Zeitverzögerung einer halben Periode einer Netzspannung entspricht.
- Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei diese Vorrichtung eine Umschalteneinrichtung (42) und eine Sperrereinrichtung (44) aufweist, wobei diese Umschalteneinrichtung (42) einseitig mit einer Synchronisationseinrichtung (4) des gesteuerten Serienkompensators (2) und ausgangseitig einerseits mit einem Steuersatz (6) dieses Serienkompensators (2) und andererseits mit der Sperrvorrichtung (44) verknüpft ist, die ihrerseits mit den Ausgängen des Steuersatzes (6) verbunden sind, und wobei an weiteren Eingängen der Umschalteneinrichtung (42) ein phasenbezogenes Anlagen-Stellsignal ( $S_{komp}$ ),  $S_{komp}$  und zwei Kennungssignale ( $S_{ind1}$ ,  $S_{ind2}$  bzw.  $S_{indR}$ ,  $S_{indT}$  bzw.  $S_{indR}$ ,  $S_{indS}$ ) der weiteren Phasen (S, T bzw. R, T bzw. R, S) anstehen.
- Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei die Umschalteneinrichtung (42) eine Umschalt-Ablaufsteuerung (48), jeweils ein Funktionsglied (50, 52) für den kapazitiven und induktiven Arbeitsbereich ( $A_{kap}$ ,  $A_{ind}$ ), eine Einrichtung (54) zur Arbeitsbereicherkennung, eine Einrichtung (56) zur Invertierung eines Synchronisiersignals ( $S_s$ ) und mehrere Umschalterschalter (58, 60, 62, 88) aufweist, deren Steuerungseingänge (82, 84, 86, 86) mit der Umschalt-Ablaufsteuerung (48) verbunden sind.
- Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Einrichtung (54) zur Arbeitsbereicherkennung ausgangseitig mit der Umschalt-Ablaufsteuerung (48) und mit einem Ausgang (80) der Umschalteneinrichtung (42) und einseitig mit einem Stellsignal-Eingang (64) der Umschalteneinrichtung (42) verbunden sind,



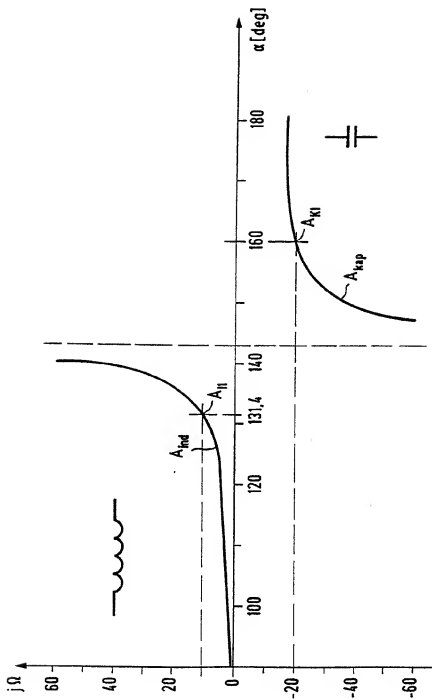


FIG 1

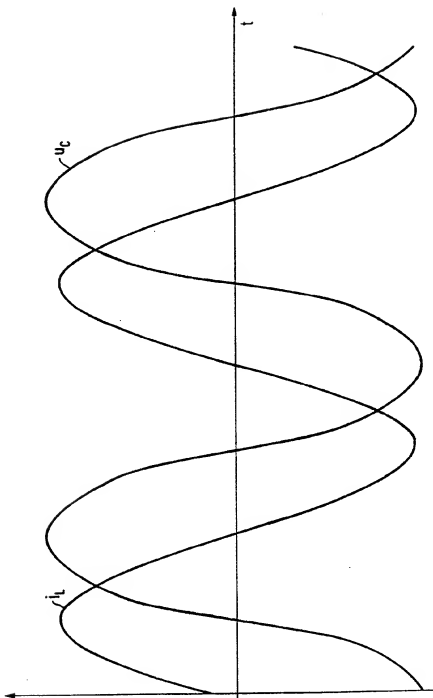


FIG 2

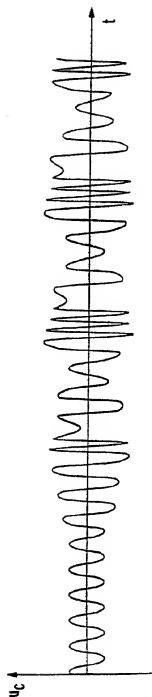
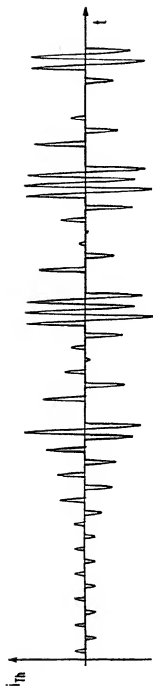
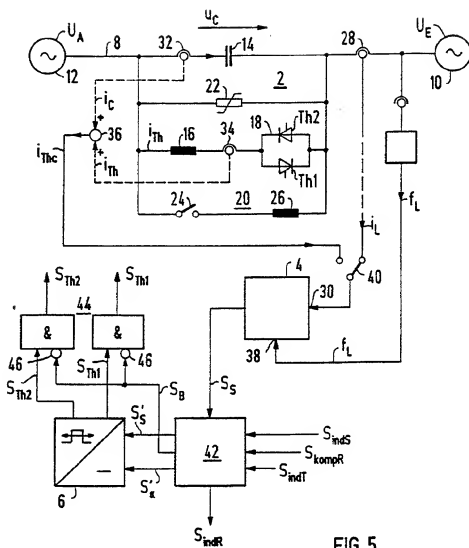


FIG 3



**FIG 4**



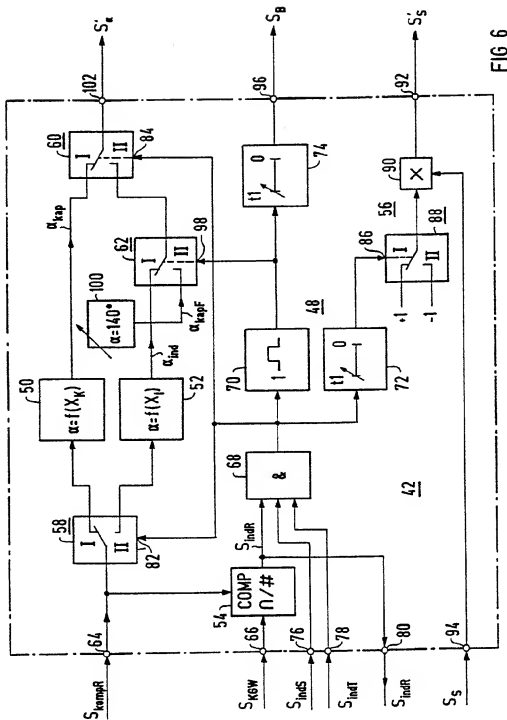


FIG 6

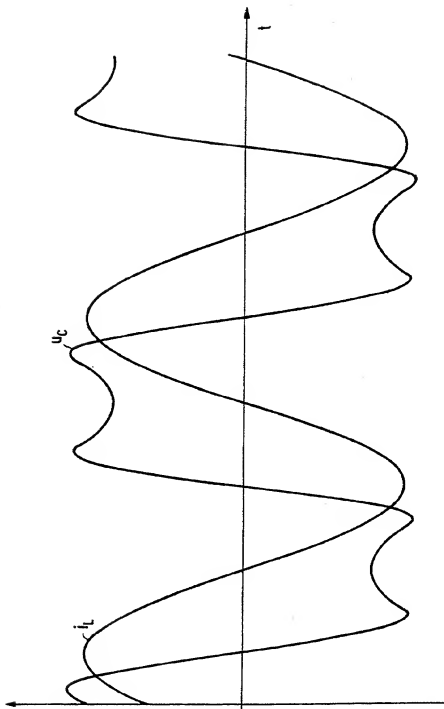


FIG 7

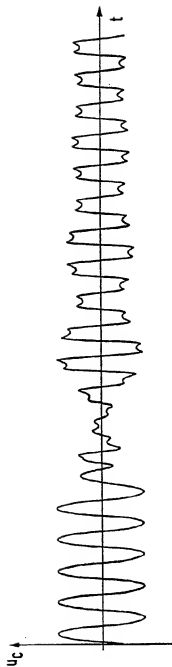


FIG 8



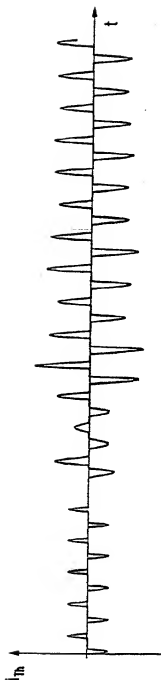


FIG 9